

## RAKÉTÁK REAKTÍV HAJTÓMŰVEI

A katonai alkalmazású rakétákban nagyon széleskörűen alkalmazzák a reaktív hajtóműveket, melyeknek nagyon sok típusa létezik, annak függvényében, hogy éppen melyik technológiai korszakot képviseli, vagy milyen méretű, illetve alkalmazási területű rakétában alkalmazzák azt. Ez a cikk szinte a teljes keresztmetszetét bemutatja a repülőfedélzeti rakétákon alkalmazott rakétahajtóműveknek.

### A REAKTÍV HAJTÓMŰVEK

A rakétahajtóműveket fizikai szempontok alapján a reaktív hajtóművek csoportjába sorolhatjuk, melyeket alapvetően két nagy csoportra oszthatunk.

Az egyik nagy csoportba azok a hajtóművek tartoznak melyek az atmoszférában található levegőt használják, mint az energiaforrás nélkülözhetetlen komponensét, vagy mint a kiáramló tömeget, vagy mint mindkettőt. Ezeket a hajtóműveket levegőnyelő, vagy aerob hajtóművek. Ilyen hajtóműveket találhatunk a repülőgépeken, néhány rakétán és a robot repülőgépeken. Ezeknek a hajtóműveknek az alkalmazási magassága igen korlátozott és bármennyire is szeretnénk, de 30000 méter fölött már nem alkalmazhatóak.

A másik nagy csoportba azok a hajtóművek tartoznak, melyeknek nincsen szükségük a környezetükben található levegőre sem energiaforrásként, sem pedig a kiáramló tömeghez. Ezek a levegőt nem nyelő, vagy anaerob hajtóművek. Talán a legismertebb alkalmazási területük űrhajózási hordozó rakéták.

### LEVEGŐ NYELŐ HAJTÓMŰVEK

A légsavaros hajtóműnél a vonóerőt a légsavar keresztmetszetén, az úgynevezett légsavartárcsán átáramló levegő felgyorsításával állítjuk elő. A  $v$  sebességgel mozgó repülőgépre szerelt légsavar a „beszívott” levegőt  $2w$  sebességnövekedéssel „löki” hátra. Mivel hatása a tárcsa előtt és mögötti térre is kiterjed, amit a sugárkontrakció mutat, bizonyítható, hogy a légsavar síkjában sebességnövekmény feleakkora, vagyis  $w$ .

A légsavart hajthatja dugattyús motor, vagy gázturbina. Mindkét esetben a hajtómű a környezeti levegőt használja az energiaforrás egyik komponenseként.

A légszavas hajtómű legjobban a viszonylag kis sebességű repülőgépeknél, légi járműveknél alkalmazható.

A gázturbinás sugárhajtómű főalkotó elemei a levegő szívócsatorna, a sűrítő vagy kompresszor, az égőkamra, a turbina és a fúvócső. Az égőkamrában, a sűrített levegőben elégetett üzemanyagból nyert energia egy részét a turbina átalakítja mechanikai energiává a kompresszor hajtására, a megmaradó rész a fúvócsőben átalakul mozgási energiává és tolóerőt fejt ki.

Ezt a hajtómű típust a közepes és nagy sebességű repülőgépeknél, robotrepülőgépeknél kerül alkalmazásra. (körülbelül 2-2,5 M<sup>1</sup> tartományig)

Az ennél nagyobb sebességeknél már feleslegessé válik a turbókompresszor, mivel a szívócsatornában létesített torlónyomás, rekompreszió elegendő az égési reakció jó hatásfokú lefolyásához. Az ilyen típusú hajtóműveket hívjuk a torlósugar hajtóműnek.

Ez a propulziós rendszer csupán a levegő beömlőcsatornából, az égőtérből és a fúvócsőből áll. Mivel nincsenek benne nagy sebességgel forgó alkatrészek, mint a kompresszor, vagy a turbina, felépítése sokkal egyszerűbb, mint a gázturbinás sugárhajtóművé. Ezzel szemben viszont nagy hátránya, hogy csak nagy sebességeknél (kb. kétszeres Mach szám elérése után) lehet beindítani. Emiatt a torlósugarhajtóművet mindig gázturbinás sugárhajtóművel vagy rakétahajtóművel kell társítani.

## LEVEGŐT NEM NYELŐ HAJTÓMŰVEK

A levegőt nem nyelő hajtóműveket leggyakrabban rakétahajtóműként szoktuk emlegetni. Vizsgáljuk meg mit nevezünk rakétahajtóműnek.

„Olyan különleges sugárhajtómű, amely a működéshez nem a környező levegőt használja fel, hanem az üzemeltetéshez szükséges anyagot a fedélzeten viszi magával. Ebből eredően a rakétahajtómű bárhol, még légüres térben is elő tud állítani tolóerőt. A rakétahajtómű lehet: kémiai, atom- és elektromos rendszerű. A kémiai rakétahajtómű munkaközege nagy hőmérsékletű gáz, a rakéta-hajtóanyag égésének, vagy nagyon gyors bomlásának a terméke. Ma még az atom-rakétahajtómű fejlesztési stádiumban van; az elektromos rakétahajtóművek pedig gyakorlatilag csak az irányító rendszerek orientációs egységeiben fordulnak elő.” [14]

A fenti definíciót megvizsgálva a rakétahajtóműveket két csoportra oszthatók:

Az egyikben – a kémiai rakétahajtóművekben – az energiaforrás és a kiáramló tömeg szoros összefüggésben van egymással, míg másokban a hajtómű energia forrása és a kiáramló tömeg nincsen olyan szoros összefüggésben egymással.

---

<sup>1</sup> M, mint Mach szám. A repülésben a sebesség meghatározásának mértékegység nélküli mérőszáma  $M=v/a$ , ahol  $v$  a repülési sebesség,  $a$  pedig a helyi hangsebesség

Például használható az atomenergia vagy a napenergia. A kiáramló tömeget gyorsíthatjuk magas hőfokú gázkeverék expanziójával vagy esetleg elektromágneses tér segítségével.

Számunkra az első csoport a lényeges ugyanis a repülőfedélzeti rakétákban ezen az elven működő hajtóműveket alkalmazunk, mivel gyakorlati megvalósítása az ilyen típusú hajtóműveknek lehetséges viszonylag olcsón és egyszerűen. Ezek a hajtóművek azért is alkalmasak repülőfedélzeti rakétákban való alkalmazásra, mert rövid idő alatt képesek igen nagy sebességeket (akár 3-3,5 M) elérni, így igen nagy távolságokat rövid idő alatt megtenni.

A repülőfedélzeti rakétákban alkalmazott rakétahajtóműveket a következőképpen csoportosíthatjuk:

A rakétahajtóművek felosztása

1. táblázat

RAKÉTA HAJTÓMŰ					
FOLYÉKONY HAJTÓANYAGÚ		SZILÁRD HAJTÓANYAGÚ		KOMBINÁLT HAJTÓMŰ	
EGYFOKOZATÚ	KÉTFOKOZATÚ	EGYFOKOZATÚ	KÉTFOKOZATÚ		KÉTFOKOZATÚ

Ha csoportosítjuk a repülőfedélzeti rakétákat, és megvizsgáljuk, hogy a különböző csoportokban milyen rakétahajtóművek fordulnak elő, akkor a következő következtetésre jutunk. Nem irányítható rakéták esetében kutatásaim során nem találok csak szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművel. Ez a rakéták viszonylag gyakori kis méretével és a hajtómű gyártási hibáiból adódó viszonylag kis szórásból és a hajtómű megbízható működéséből, olcsó előalíthatóságából adódik. Az irányítható rakéták között különbséget kell tenni a légiharc és a felszín elleni rakéták között. A légiharc rakéták között sem találok csak szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművet, míg a felszínelleni rakéták között igen nagy a választék. A rakéta harcászati jellegétől, vagy a hatótávolságtól illetve a rakéta méretétől függően ebben a csoportban megtalálható valamennyi korábban felsorolt hajtómű.

A felsorolt reaktív hajtóművek szinte bármilyen kombinációja előfordulhat a rakétákon és ennek függvényében beszélünk egyfokozatú, vagy kétfokozatú hajtóműről. Háromfokozatú hajtóművel egyelőre nem találok, de létezését nem tartom kizártnak, mivel az elektronika igen gyors fejlődésével a lokátorok, egyéb felderítő eszközök hatótávolsága is fejlődik, ami lehetővé teszi az egyre nagyobb távolságból történő rakétaindítást.

A sajtóban robotrepülőgépként vagy cirkálórakétaként emlegetett eszközöknek gázturbinás sugárhajtóműve van esetleg utánégetővel, vagy nélküle. Éppen ezért ha a hajtómű oldaláról közelítjük meg az eszköz elnevezését, akkor a robotrepülőgép a jobb elnevezés, de legtöbb szakmai könyvben rakétaként írnak ezekről az eszközökről. Nem tartom tisztelnak az elnevezések közötti ellentmondást feloldani csak rá szeretnék világítani, az elnevezések közötti ellentmondásra.

A hagyományos értelemben vett rakéták között találunk olyat, amelyik egyfokozatú, szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművel rendelkezik, melyek felépítését nem tervezem tárgyalni. Találunk viszont olyat, amelyik kétfokozatú hajtóművel rendelkezik, melyek közül az első fokozat – a gyorsító fokozat – szilárd hajtóanyagú rakétahajtómű. Ezen rakéták második fokozata lehet levegőt nem nyelő, tehát a hagyományos értelemben vett rakétahajtómű, lehet viszont levegőt nyelő torlósugarhajtómű. Ezek között a hajtóművek között is megkülönböztethetünk folyékony és szilárd hajtóanyagú hajtóműveket.

## **Szilárd és folyékony hajtóanyagú rakétahajtóművek rövid összehasonlítása**

A szilárd hajtóanyagú rakétahajtómű szerkezetét tekintve igen egyszerű. A szilárd hajtóanyagot – általában különféle lőporokat – hajtótöltet formájában,<sup>2</sup> a tüzelőtérben helyezik el, így tulajdonképpen a tüzelőtér egyben a hajtóanyagtartály, és egyben a rakéta törzse is.

Igen fontos előnye:

- szerkezet, így a gyártása is egyszerű és viszonylag olcsó;
- a hajtóanyag állandóan a rakétában tárolható;
- az indításhoz való előkészítés a hajtómű szempontjából nem igényel előkészítési időt.

Hátrányai:

- mivel a hajtótöltet tárolótartálya a hajtómű működése során tüzelőtérre változik, és egyben a rakéta törzse is, így a fellépő nagy nyomást és hőmérsékletet a tervezéskor figyelembe kell venni, ami megnövelheti a tüzelőtér méretét;
- viszonylag kis fajlagos tolóerő;
- az égési folyamatot jelentősen befolyásolja a töltet kezdeti hőmérséklete;<sup>3</sup>
  - nagyon nehezen, vagy egyáltalán nem oldható meg a hajtómű leállítása.

Figyelembe véve a felsorolt előnyeit – hátrányai ellenére – páncéltörő, tűzér-ségi, légvédelmi, repülőgép-, helikopter-, hajó- és tengeralattjáró-fedélzeti rakétákban is széleskörű alkalmazást nyert. A korszerű szilárd hajtóanyagú rakéta-

---

<sup>2</sup> lásd [15] Szilvássy László: Repülőgép-fedélzeti rakéták hajtóműveiben alkalmazott hajtóanyagok, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Repülőtiszt Intézet Repüléstudományi Közlemények, X. évfolyam 25. szám 1998/2.

<sup>3</sup> Töltet kezdeti hőmérséklete: a hajtóanyagok lényeges tulajdonsága. A töltethőmérséklet meghatározza a szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművek tolóerejét, ugyanis a kisebb hőmérsékletű hajtótöltet lassabban ég. Ennek eredményeként egy időegység alatt kevesebb égéstermék keletkezik, tehát kisebb a tolóerő. A töltethőmérsékletnek  $-30\text{ °C}$ -ról  $+40\text{ °C}$ -ra való növelésekor a tolóerő, a hajtóanyag fajtajától függően, 40-60 %-kal növekedhet. A töltethőmérsékletet a löelemek megadásakor, illetve a szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművek üzemeltetése során figyelembe kell venni. [14]

hajtóművek legnagyobb fajlagos tolóereje 3000 N/kg, a legnagyobb tüzelőtér nyomásuk pedig mintegy 20 MPa.

A folyékony hajtóanyagú rakétahajtóművet gyakran alkalmazzák közepes ill. nagy hatótávolságú rakétafegyverekben. Az ilyen típusú hajtóművek szerkezete bonyolultabb, mint a korábban tárgyalt szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművéké. Általában hajtóanyag tartályból vagy tartályokból, hajtóanyag-táprendszerekből, hajtóházból (tüzelőtér a fűvókával) és a hajtómű automatikából áll. A hajtóanyag-tartályokban tárolt összetevőket (általában oxidálóanyagot és tüzelőanyagot) a táprendszer szállítja a tüzelőtérbe, ahol a meggyulladás után folyamatos égés játszódik le.

A hajtómű-automatika irányítja a hajtómű működését:

- a megindítását;
- az összetevők begyűjtését;
- a tüzelőtérbe betáplálható hajtóanyag mennyiségének szabályozását;
- az összetevők egymáshoz viszonyított mennyiségének megváltoztatását;
- a hajtómű leállítását.

A folyékony hajtóanyagú rakétahajtóművek előnyös tulajdonságai:

- a szabályozás egyszerűsége és pontossága;
- a gyors és pontos leállítás lehetősége;
- viszonylag magas fajlagos tolóerő.

Hátrányai

- bizonyos típusú hajtóanyag-összetevőket sajátos tulajdonságuk miatt nem lehet a rakéta fedélzeti tartályaiban tárolni huzamosabb ideig;
- az előbbiből következően viszonylag nagy előkészítési idő;
- szerkezete meglehetősen bonyolult;

Hajtóanyagok összehasonlítása

2. táblázat

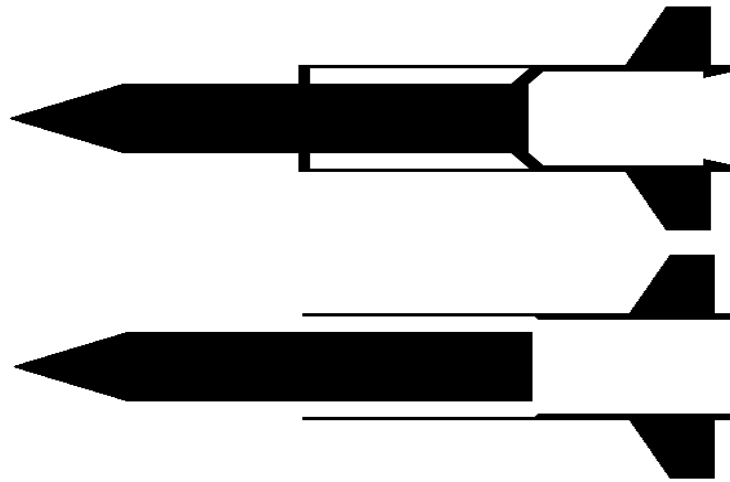
	Fajlagos tolóerő [Ns/kg]	Kiáramlási sebesség [m/s]	Tüzelőtér nyomás [MPa]
Szilárd hajtóanyagok	2500-3000	1000-2500	15-20
Folyékony hajtóanyagok	3500-4000	2500-4000	6-8

A különböző hajtóanyagú rakétahajtóművekről eddig leírtakat figyelembe véve megállapíthatjuk, hogy a gazdaságossági és kezelhetőségi szempontokat figyelembe véve látható, hogy a szilárd hajtóanyagformák térhódítása miatt olyan jelentős a repülőfedélzeti rakéták körében.

## RAKÉTÁKON ALKALMAZOTT TORLÓSUGÁRHAJTÓMŰ FELÉPÍTÉSE

Torlósugarhajtóművel felszerelt rakéták különös ismertetője, hogy rendelkeznek valamilyen levegőbeömlő csatornával, vagy csatornákkal. Ismerek olyan rakétát, melynek a levegő beömlő csatornája külső megjelenésében a MiG-21 repülőgép beömlő csatornájára hasonlít. Ha jobban megvizsgáljuk a rakéta hajtóművének felépítését a hasonlóság fokozódik, ugyanis a rakéta második fokozata nem más, mint az egyik ismert MiG típusú repülőgép utánégető fokozata, folyékony kerozin üzemanyaggal. Természetesen mire ez a hajtómű működésbe kezd a rakéta már közel 2 Mach sebességgel repül. Ezt a sebességet négy darab szilárd hajtóanyagú leváló rakétahajtómű biztosítja.

A másik igen gyakran alkalmazott torlósugarhajtómű felépítését tekintve eltér az előbb említettől. A különbség az, hogy a levegő beömlő csatorna a rakéta testen kívül, az oldalán helyezkedik el. A leggyakrabban alkalmazott beömlőcsatorna szám a négy. Éppen ez az, ami nagyon sok félreértésre ad okot ugyanis felületes szemlélő számára ez a négy beömlőcsatorna úgy néz ki, mintha négy gyorsító fokozat lenne, amiről fentebb írtam. Az ilyen típusú rakétahajtómű általában közös hengeres testben nyer elhelyezést a gyorsító hajtóművel egymás mögötti elrendezésben. A rakéta indulásakor csak a gyorsító fokozat indul és viszonylag rövid idő alatt nagymennyiségű szilárd hajtóanyagot éget el, progresszív égéssel a rakéta gyorsításához. A gyorsító fokozat kiégésével egy időben indul a második, menet vagy utazó fokozat, ami a kiéget indítóhajtóműteret használja égőtérként, ahol megtörténik hajtóanyag elégetése a környező levegő segítségével. A levegő beömlő csatornák addig, míg a gyorsító fokozat működik lezárásra kerülnek egy speciális dugó segítségével. (lásd 1. sz. ábra felső rajz)



1. ábra. A torlósugarhajtómű felépítése

A dugókat a start hajtóműben uralkodó nagy nyomás tartja a helyükön mindaddig amíg a hajtómű nyomása magasabb mint a torlónyomás. Ez pedig a hajtómű kiégésekor következhet csak be. Ekkor a dugók a torlónyomás hatására beesnek az égőtérbe és rendszerint elégnak vagy távoznak a fűvókán keresztül. Az indító hajtómű kiégésével egy időben szükség van a fűvóka keresztmetszetének megnövelésére a menet hajtómű igényeinek megfelelően (lásd 1. sz. ábra alsó rajz). Ezt a leggyakrabban egy lerobbantható fűvóka egységgel oldják meg. A menet hajtómű a hajtóanyag tekintetében lehet akár folyékony akár szilárd. Bármelyikről is legyen szó olyan összetételű, hogy az égés során felhasználásra kerülő oxigén csak egy részét tartalmazza így szükséges a külső levegő betáplálás a tökéletes égéshez.

Végezetül szeretnék néhány példát felsorolni az ismertebb rakétákon alkalmazott különböző rakétahajtóművekre. (Előre bocsátom, hogy a felsorolás csak olyan információt tartalmaz, amely az irodalomjegyzékben felsorolt nyílt, szabadon hozzáférhető könyvekben, jegyzetekben fellelhető.)

Néhány rakéta és hajtóműve

3. táblázat

	EGYFOKOZATÚ		KÉTFOKOZATÚ			
			ELSŐ FOKOZAT		MÁSODIK FOKOZAT	
	SZILÁRD	FOLYÉKONY	SZILÁRD	FOLYÉKONY	SZILÁRD	FOLYÉKONY
AA-1, -2, -3, -4	X					
AA-5, -6, -7, -8	X					
AA-6, -7, -8	X					
AS-4, -5, -6		X				
AS-15		X***				
SA-4, Ganef			X			X**
SA-6, Gainful			X		X*	
AS-11			X		X	
ASMP			X			X**
Kormoran			X		X*	
ANS			X		X*	
Martel			X		X	
Gabriel III A/S			X		X	
Penguin			X		X	
RB 05A				X		X
ACM		X***				
AGM-86B		X***				
AGM-84A Harpon		X***				
AMRAM, AIM-120	X					
ASAT			X		X	
Phoenix, AIM-54	X					
Sidewinder, AIM-9	X					
Sparrow, AIM-7	X					

\* torlósugár rakétahajtómű;

\*\* kerozin hajtóanyagú, torlósugárhajtómű;

\*\*\* gázturbinás sugárhajtómű.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] GUNSTON, Bill Korszerű harci repülőgépek fegyverzete, Zrínyi Kiadó, Budapest, 1995.
- [2] Haditechnika folyóirat 1996/3. szám
- [3] Haditechnika folyóirat 1997/4. szám
- [4] Hadtudományi lexikon CD-ROM, MHTT 1995, Scriptum Rt. 1998.
- [5] Idegen hadseregek katonai repülőerőiben rendszeresített főbb fedélzeti pusztítóeszközök, Magyar Honvédség kiadványa 1993, (Id/16 Szabályzat)
- [6] KAKULA János mk. őrnagy Rakéták szerkezetana, Főiskolai jegyzet, KGyRMF, Szolnok 1989.
- [7] KAKULA János mk. őrnagy Robbanóanyagok és a robbanás hatásai, Főiskolai jegyzet, KGyRMF, Szolnok 1990.
- [8] DR. LUKÁCS László Katonai robbantástechnika és a környezetvédelem, ZMNE HTK, 1997.
- [9] MiG-29 publication by 4+ Publishing Co., Praha, 1995.
- [10] Militair folyóirat I. évf./ 1. szám, Triak gmk, 1996. május
- [11] Militair folyóirat I. évf./ 2. szám, Triak gmk, 1996. június
- [12] NAGY István György – SZENTESI György Rakétafegyverek űrhajózási hordozórakéták, Tipuskönyv, Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1983.
- [13] PAPP Bálint – NAGY István György – DR. TAMÁSI Zoltán Rakétafegyver, Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1962.
- [14] SÁRHIDAI Gyula: Robotrepülőgépek, Haditechnika fiataloknak Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1986.
- [15] SZENTESI György Hadászati rakéták, Haditechnika fiataloknak Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1987.
- [16] SZILVÁSSY László Repülőgép-fedélzeti rakéták hajtóműveiben alkalmazott hajtóanyagok, Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 1998/2. (43-50) o.
- [17] ИЛЬИНА, О. А. Авиационное вооружение, Военное издательство Министерство Обороны СССР, Москва, 1977.
- [18] КОНОВАЛОВ, Н. Е. – МЕЛИК-ПАШАЕВ, Н. И. Теория авиационных двигателей, Часть III. Прямоточные ВРД и ракетные двигатели, ВВИА им. Жуковского, Москва, 1974.
- [19] САРКИСЯН, Р. С. Авиационные боеприпасы, ВВИА им. Жуковского, Москва, 1978.
- [20] ЧУМАКОВ, В. А. Авиационные ракеты ВВИА ВВИА им. Жуковского, Москва, 1974.